

## Réf.03 Chap.III L'inéluctable évolution des génomes

Différents mécanismes permettent des modifications du génome. Ces modifications peuvent alors être transmises à la descendance, que ce soit par reproduction sexuée ou non. Dans ce chapitre, on étudie l'évolution des génomes chez les eucaryotes à reproduction sexuée. Il s'agit de comprendre comment, à partir d'un modèle théorique basé sur une stabilité de la fréquence relative des allèles de génération en génération, des facteurs entraînent une modification de la fréquence des allèles et peuvent être ainsi à l'origine de l'évolution des populations et de l'apparition de nouvelles espèces.

**Objectifs du chapitre :** mobiliser les acquis sur les mécanismes de l'évolution et comprendre, en s'appuyant sur des exemples variés, que ces mécanismes concernent toutes les populations vivantes.

**Comment évoluent les fréquences alléliques dans une population ? Que prévoit ce modèle ? A quelle(s) condition(s) ce modèle est-il valable ?**

### I- Le modèle théorique de Hardy-Weinberg

Ce modèle prévoit la stabilité des fréquences relatives des allèles dans une population donnée. Cependant, dans les populations réelles, différents facteurs empêchent d'atteindre cet équilibre théorique.

#### A Les caractéristiques du modèle de Hardy-Weinberg

Proposée en 1908 par le mathématicien anglais Hardy et le médecin allemand Weinberg, le modèle de Hardy-Weinberg repose sur 5 hypothèses :

- **la reproduction est sexuée avec des unions qui se font au hasard** ainsi que la rencontre au hasard des gamètes)
- **pas de mutation** qui modifie les allèles étudiés
- **pas de sélection naturelle** d'un phénotype particulier
- **taille de la population très grande**
- **pas de migration** (ni apport ni retraits d'individus)

Dans ces conditions, les **fréquences des différents allèles restent constantes d'une génération à l'autre** : on parle d'équilibre de Hardy-Weinberg.

#### B Formulation mathématique du modèle

Si un gène existe sous deux formes alléliques A et a, un individu peut avoir trois génotypes possibles : (A//A) ou (a//a) ou (A//a).

On considère alors la fréquence des allèles dans une population : posons p la fréquence de l'allèle A et q la fréquence de l'allèle a et **p + q est égal à 1**.

Dans une population donnée, les individus produisent des gamètes dans une proportion p pour des gamètes (A/) et q pour des gamètes (a/).

Avec un échiquier de croisement, lors du croisement au hasard des gamètes on obtient :

Gamète femelle	(A/) p	(a/) q	Les fréquences des génotypes sont déduites de la fréquence des allèles	Fréquence du génotype (A//A)= $p^2$ Fréquence du génotype (a//a)= $q^2$ Fréquence du génotype (A//a)= $2pq$
Gamète mâle				
(A/) p	(A//A) $p^2$	(A//a) pq		
(a/) q	(A//a) pq	(a//a) $q^2$		

**Le modèle de Hardy-Weinberg permet ainsi de calculer les fréquences des génotypes à la génération suivante avec :  $p^2 + 2pq + q^2 = (p+q)^2 = 1$**

**Dans une population suffisamment grande, la fréquence des allèles et celle des génotypes ne varient pas d'une génération à une autre.**

La structure génétique d'une population est définie alors par la fréquence des allèles et son évolution d'une génération aux suivantes. Selon le modèle de Hardy-Weinberg, cette structure génétique est stable. Or, dans les populations réelles, différents facteurs empêchent d'atteindre cet équilibre.

## Quels sont les facteurs qui modifient la structure génétique des populations et font évoluer les génomes ?

### II Des facteurs à l'origine de la variation de la fréquence des allèles

L'équilibre prédit par le modèle de Hardy-Weinberg (stabilité de la fréquence des allèles au sein d'une population au cours de générations successives) répond à un certain nombre de critères : accouplement au hasard, absence de pression sélective, effectif de la population important... Il s'agit maintenant de comprendre quels sont ces facteurs et pourquoi ils modifient la fréquence des allèles au cours des générations.

#### A Appariement non aléatoire

**On appelle ici appariement la rencontre entre deux individus de sexe différent, un mâle et un femelle.**

Pour que le modèle reste valide, il faut que la rencontre entre deux individus mâle et femelle reste aléatoire : on parle alors **d'appariement aléatoire**.

Cependant, il peut y avoir au sein des populations des **appariements non aléatoires**. C'est le cas par exemple lorsque :

- les individus ont tendance à choisir des individus géographiquement plus proches : dans de nombreuses populations les accouplements avec des individus proches sont plus fréquents qu'avec des individus plus éloignés.
- un choix du partenaire s'effectue en fonction du phénotype ou encore chez certaines espèces animales, seuls quelques mâles ont accès aux femelles.
- la fécondation croisée ne peut avoir lieu et l'autofécondation s'effectue : c'est le cas par exemple chez certaines plantes, les deux partenaires sont alors génétiquement identiques.
- deux individus proches parents s'accouplent, dans ce cas les deux partenaires sont plus similaires génétiquement que deux individus choisis au hasard.

#### B Les mutations

Certaines mutations génétiques, affectant les cellules de la lignée germinale peuvent introduire de nouveaux allèles dans la population et se transmettre ainsi à la descendance. **La mutation d'un gène au sein d'une population modifie alors la fréquence des allèles existant et ainsi la fréquence des génotypes.**

#### C Sélection naturelle

Dans un environnement donné, **certains allèles confèrent un avantage sélectif** aux individus qui les possèdent. Ces derniers ont plus de chance de se reproduire et transmettent à leur descendance leurs allèles. Si l'environnement reste stable, la fréquence des allèles favorables augmente de génération en génération.

A l'inverse la fréquence des allèles qui ne confèrent pas un avantage sélectif diminue et peuvent même disparaître au sein de la population.

**La sélection naturelle modifie donc la fréquence des allèles de génération en génération.**

#### D Dérive génétique

Dans les populations de petite taille, la fréquence d'un allèle peut varier de façon aléatoire, sans pression sélective exercée sur les phénotypes des individus porteurs de cet allèle. Dans ce cas, l'équilibre établi par le modèle de Hardy-Weinberg n'est pas respecté :

- les populations sont de petite taille, ce qui favorise de plus l'appariement non aléatoire.
- **la fréquence de l'allèle peut augmenter au fil des générations jusqu'à être fixé dans la population** pour atteindre alors une fréquence de 1 (100% des locus du gène sont occupés par cet allèle)
- **la fréquence de l'allèle peut au contraire diminuer au fil des générations jusqu'à disparaître** pour atteindre une fréquence de zéro (l'allèle en question n'est plus présent dans la population).

Ainsi, la dérive génétique, correspondant à une variation aléatoire de la fréquence des allèles au sein d'une population, **n'est donc pas prédictive** et ne répond pas au modèle de Hardy-Weinberg. La dérive génétique s'observe donc dans des populations caractérisées par un petit effectif ou lorsqu'un allèle est neutre, ne présentant ni avantage, ni inconvénient.

#### E Migrations

Dans la plupart des situations réelles la migration d'individus peut faire entrer de nouveaux allèles au sein d'une population. De même, le départ d'individus peut modifier la structure génétique de la population dont ils sont issus.

Les migrations ont donc pour conséquence des flux de gènes entre différentes populations et entraînent des modifications des fréquences alléliques.

**Dans ces différents cas, la fréquence des allèles au fil des générations successives varie et ne répond pas au modèle de Hardy-Weinberg. La structure génétique de la population change au cours du temps.**

*Les populations sont donc soumises à des facteurs évolutifs. A cause de l'instabilité de l'environnement biotique (lié aux êtres vivants) et abiotique (lié aux facteurs du milieu de vie), une différenciation génétique se produit au cours du temps. Cette différenciation peut conduire à limiter les échanges réguliers de gènes entre différentes populations.*

**Quelles sont les conséquences évolutives des modifications de la structure génétique des populations ?**

### **III De la différenciation génétique des populations à l'évolution des espèces au cours du temps**

#### **A Les mécanismes de la spéciation**

- Le mécanisme le plus courant se produit lorsque deux populations sont isolées par une barrière géographique, par fragmentation de l'habitat ou migration. Du fait de ces obstacles, il se crée un isolement reproductif entre les deux populations. Cet isolement permet une évolution indépendante des deux populations qui finissent par acquérir un isolement reproductif qui leur est propre.
- La spéciation se fait aussi par apparition d'une nouvelle espèce sur une aire de répartition chevauchante avec celle de l'espèce d'origine. Ce type de spéciation suppose qu'une barrière intrinsèque à la reproduction se mette en place très rapidement, puisque les deux groupes sont en contact. Les modifications de la structure génétique des populations peuvent servir de telles barrières.

Ainsi, la spéciation intervient quand un groupe d'individus se scinde en sous-groupes qui n'ont plus d'échanges. Des raisons géographiques ou des changements de comportement peuvent en être la cause. Les populations divergent sous les effets de la dérive génétique et de la sélection naturelle jusqu'au moment où, trop différentes, elles ne peuvent plus se reproduire entre elles. Les espèces apparaissent donc comme des ensembles hétérogènes de populations, évoluant continuellement dans le temps.

#### **B La notion d'espèce**

Comme le constatait Darwin, la dénomination d'espèce reflète plus un besoin de classification de l'homme qu'une réalité scientifique. La réalité du vivant est beaucoup plus changeante et floue. L'espèce caractérise un ensemble de populations reproductivement séparées d'autres populations, lesquelles sont alors désignées par un autre nom d'espèce.

- Les critères de reconnaissance de l'espèce.
  - les critères morphologiques : ils délimitent une espèce comme un groupe d'individus partageant des caractères qui leur sont propres. Toutefois, ces critères ont des limites comme par exemple lorsque mâle et femelle présentent des caractères très différents.
  - les critères biologiques : ils identifient l'espèce comme un groupe de populations naturelles interfécondes et dont la descendance est fertile. L'espèce forme alors un groupe isolé sur le plan reproducteur.
- Le séquençage de l'ADN permet de porter un regard différent sur la notion d'espèce

Les méthodes modernes de séquençage de l'ADN permettent de regrouper les individus qui possèdent des patrimoines génétiques très proches. Ce séquençage remet en cause des regroupements d'individus en une seule espèce. Certaines populations considérées comme homogènes ne le sont pas sur le plan génétique et constituent des espèces différentes. Inversement, des populations considérées comme appartenant à des espèces différentes montrent des hybridations fréquentes attestant alors d'échanges de gènes.

La construction d'arbre phylogénétique basé sur des analyses génétiques permet de reconstituer l'histoire évolutive des populations.

### Lexique référentiel 03 :

**Adaptation** : stabilisation d'une ou plusieurs variations favorables dans la population à un moment donné (processus non figé, les phénotypes favorables peuvent devenir défavorables quand le milieu change).

**Allèle** : version d'un gène situé au même locus que ce gène. Les allèles d'un gène diffèrent par leur séquence nucléotidique.

**Arbre phylogénétique** : présente les relations de parenté entre organismes vivants. Il montre qui est proche de qui, et non pas qui descend de qui.

**Dérive génétique** : variation aléatoire de la fréquence des allèles et d'autant plus marquée que l'effectif de la population est petit.

**Espèce** : ensemble d'individus se reproduisant entre eux et engendrant une descendance fertile pendant une certaine période.

**Evolution** : transformation permanente du monde vivant marquée par l'apparition d'espèces nouvelles et la disparition de certaines espèces.

**Fréquence allélique** : proportion d'un allèle donné dans une population par rapport aux autres allèles du même gène. Elle peut être exprimée en proportion (de 0 à 1) ou en pourcentage (de 0% à 100%).

**Modèle théorique** : objet d'étude que l'on cherche à représenter sans que cette représentation adhère nécessairement à la réalité observée.

**Mutation (génétique)** : modification de la séquence nucléotidique de l'ADN

**Population** : ensemble des individus appartenant à une même espèce vivant au même endroit et au même moment.

**Sélection naturelle** : différence de succès reproducteur entre les individus sous l'effet d'une pression sélective et qui entraîne une modification de la fréquence des phénotypes dans une population.

**Séquençage de l'ADN**: détermination de l'ordre d'enchaînement des nucléotides

**Spéciation** : processus évolutif qui aboutit à l'apparition d'une nouvelle espèce à partir d'une espèce préexistante.

### Capacités et attitudes attendues pour ce chapitre :

- Comprendre la notion de structure génétique et l'équilibre de Hardy-Weinberg
- Identifier les facteurs éloignant de l'équilibre théorique de Hardy-Weinberg
- Extraire, organiser et exploiter des informations sur l'évolution de fréquences alléliques dans des populations
- Questionner la notion d'espèces en s'appuyant sur les apports du séquençage de l'ADN.

### Références :